第 27 卷 第 4 期
2015年 7 月
腐蚀科学与防护技术
CORROSION SCIENCE AND PROTECTION TECHNOLOGY
Vol.27 No.4
Jul. 2015

几种缓蚀剂对钢-铝偶合体在3%NaCl溶液中的缓蚀作用研究

苏小红 孔小东 王 楷 胡裕龙

海军工程大学理学院 武汉 430033

摘要： 采用电化学测试和浸泡失重实验，对比分析了 0.1 mg/g Na_2S、1%Na_3PO_4、5000 mg/L Na_2MoO_4、及其复配 0.1 mg/g Na_2S+1%Na_3PO_4、1%Na_3PO_4+5000 mg/L Na_2MoO_4几种缓蚀剂的添加对 10CrSiNiCu (907) 钢-ZL102 铝合金偶合体 (后称钢-铝偶合体) 的缓蚀效果。结果表明：几种缓蚀剂的加入均能在一定程度上减弱钢-铝偶合体的电偶腐蚀，并减缓了钢、Al各自在3%NaCl溶液中的腐蚀，其中复配体系 (1%Na_3PO_4+5000 mg/L Na_2MoO_4) 对钢-铝电偶对的综合缓蚀效果最好。

关键词： 缓蚀剂 电偶腐蚀 复配体系 缓蚀效果

中图分类号： TG174 **文献标识码：** A **文章编号：** 1002-6495(2015)04-0368-03

Corrosion Inhibition Effect of Several Inhibitors on 907 Steel-ZL102 Al Alloy Coupling in 3%NaCl Solution

SU Xiaohong, KONG Xiaodong, WANG Kai, HU Yulong

College of Science, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China

Abstract: The corrosion inhibition effect of several inhibitors on a galvanic couple of 907 steel-ZL102 Al alloy in 3%NaCl solution was investigated by using electrochemical tests and mass-loss experiment. The inhibitors include 0.1 mg/g Na_2S, 1%Na_3PO_4 and 5000 mg/L Na_2MoO_4 as well as their compounds of 0.1 mg/g Na_2S+1%Na_3PO_4 and 1%Na_3PO_4+5000 mg/L Na_2MoO_4. The results showed that, all the inhibitors can reduce the galvanic corrosion of 907 steel-ZL102 Al alloy coupling to a certain extent, and slow the corrosion of steel and aluminum in 3%NaCl solution; among others the integrated inhibition effect of the compound 1%Na_3PO_4+5000 mg/L Na_2MoO_4 is the best for the 907 steel-ZL102 Al alloy coupling.

Key words: inhibitor, galvanic-corrosion, composite-system, inhibitive-effect

1 前言

907钢由于具有较高的强度和较好的抗海水腐蚀性能，在海洋工程、石油化工等领域得到了大规模应用，是金属结构件的主要材料之一。同样Al及其合金也以质轻、机械强度高、良好的塑性在航天、汽车、能源、交通、海洋等领域获得广泛应用。在实际工程应用中，不可避免会产生异种金属交叉连接的情况[1]。以船舶装备为例，常见钢-Al结合的构件一同浸入海水之中，不可避免地会出现电偶腐蚀的情况，添加缓蚀剂是一种简便有效的防腐蚀方法。但对于两种及两种以上金属偶合件，有时某单一缓蚀剂可能对金属结构件中一种金属有着较好的缓蚀效果，但对其它金属缓蚀效率可能不高，甚至可能会加剧其它金属的腐蚀速度，从而导致整个结构件失效。而两种以上复配缓蚀剂的联合使用，会对偶合金属件几种金属的缓蚀起到比较理想的效果。

本文以10CrSiNiCu钢 (907钢) 和ZL102铝合金

定稿日期： 2014-10-09
基金项目： 海军工程大学自然科学基金项目 (20140081) 资助
作者简介： 苏小红，女，1980年，硕士，讲师
通讯作者： 苏小红，E-mail: surrey0908@sina.com，研究方向为材料及其腐蚀与防护
DOI: 10.11903/1002.6495.2014.297

作为研究对象，在文献[2-6]对单一金属铝或钢缓蚀剂研究的基础上，采用电化学测试和浸泡失重实验对比分析了0.1 mg/g Na_2S、1% Na_3PO_4、5000 mg/L Na_2MoO_4及其复配0.1 mg/g Na_2S+1% Na_3PO_4、1% Na_3PO_4+5000 mg/L Na_2MoO_4[7,8]几种缓蚀剂的添加对907钢-ZL102铝偶合体 (后称钢-铝偶合体) 的缓蚀效果。

2 实验方法

实验材料为907钢轧制钢材及ZL102铝合金，化学成分分别 (质量分数，%) 为：C＜0.12，Si 0.8~1.1，Mn 0.5~0.8，Ni 0.5~0.8，Cr 0.6~0.9，Cu 0.4~0.6，P＜0.035，S＜0.035，Fe余量；Si 11.5，Mn 0.5，Mg 0.1，Fe 0.7，Cu 0.3，Zn 0.1，Ti 0.2，Al余量。电化学测试用试样面大小取为10 mm×10 mm，其余面用环氧树脂密封，用砂纸逐级打磨至1200#，丙酮除油，后用去离子水冲洗并吹干待用。

采用CS350电化学工作站进行电化学测试，测试周期为40 d。采用三电极体系，参比电极为饱和甘汞电极，辅助电极为铂电极，在恒温25 ℃下利用CS350电化学工作站测试试样在含不同缓蚀剂的3%NaCl溶液中的电偶电位和电偶电流，缓蚀剂添加方案如下：溶液1：3%NaCl空白溶液 (Blank)；溶液2：3% NaCl+0.1 mg/g Na_2S；溶液3：3% NaCl+1% Na_3PO_4；溶液4：3%NaCl+5000 mg/L Na_2MoO_4；溶液5：3%NaCl+(1%Na_3PO_4+0.1mg/g Na_2S)；溶液6：3% NaCl+(1%Na_3PO_4+5000 mg/L Na_2MoO_4)。

失重实验用钢和铝试样大小为40 mm×30 mm×12 mm，实验前对每组试样进行编号、称重。后浸入以上6种含不同缓蚀剂的3%NaCl溶液中，浸泡时间为3个月。

3 结果及分析

3.1 钢-铝偶合体电偶电位分析

电化学测定添加不同缓蚀剂的3%NaCl中钢-铝偶合体的电偶电位结果如图1所示。可以看出，钢铝偶合体的电偶电位均发生正移。这是由于在钢-铝偶合体中，钢作为阴极，其基体金属表面的Fe^{2+}分别与MoO_4^{2-}、PO_4^{3-}发生反应生成[Fe-MoO_4-Fe_2O_3]钝化膜[9,10]和铁系磷化钝化膜$FePO_4$、Fe_2O_3[11]。而铝作为阳极，其表面钼酸根离子与铝合金作用生成以MoO$(OH)_2$为主要成分的转化膜[12]，膜层的不断覆盖，引起自腐蚀电位升高，电偶电位发生正移。同时Na_2S使得铝合金表面钝化膜的形成也能引起自腐蚀电位升高，电偶电位发生正移[2]。从图1还可看出5种缓蚀剂中复配体系溶液6最大地提高了钢-铝电偶对在3%NaCl溶液中的电偶电位。

3.2 钢-铝偶合体电偶电流分析

电化学测定不同缓蚀剂的3%NaCl中钢-铝偶合体的电偶电流结果如图2所示。可以看出，在1~10 d时间段，电偶电流的减小比较明显，数值下降也比较快，10 d后电偶电流变化较为缓慢了，直到30 d后到达一个稳定值。这是因为刚偶接时，电极表面均未形成比较致密的保护膜，且电偶对的驱动电压较大，反应比较剧烈，而随着时间的推移，电偶电极由于极化作用，驱动电压减小，并且电极表面逐渐形成的一层腐蚀产物膜层造成了电阻极化，均导致电偶电流逐渐变小并趋于稳定。图2中还可看出，5种缓蚀剂的添加均使钢-铝偶合体的电偶电流有小幅度的降低，说明5种缓蚀剂对钢-铝偶合体间的电偶腐蚀均有一定程度的抑制作用。其中复配体系溶液6较其它4种缓蚀剂使钢-铝偶合体的电偶电流降低的幅度更大，较空白溶液中的电偶电流10.2 μA/cm²，该复配体系中电偶电流降到了3.9 μA/cm²。这是因为

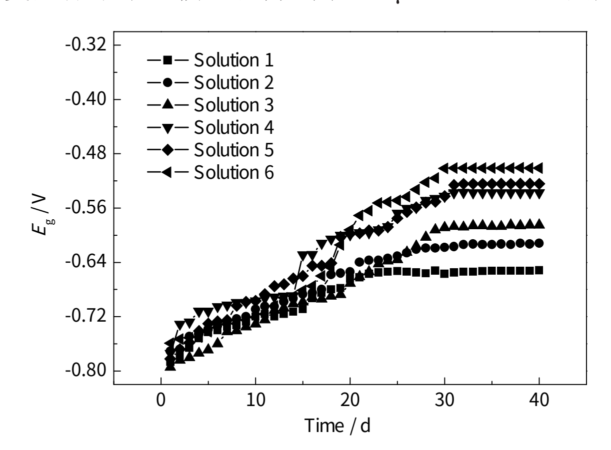


图1 钢-铝偶合体在添加不同缓蚀剂的3%NaCl溶液中电偶电位-时间曲线

Fig.1 Alteration of coupling potential with time flies in 3% NaCl solution with different inhibitors

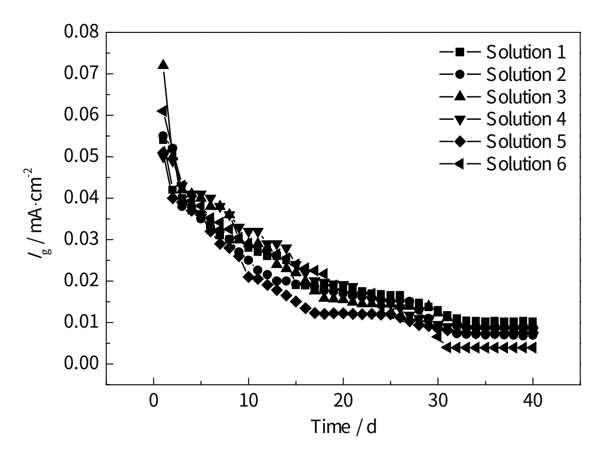
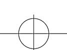


图2 钢-铝偶合体在添加不同缓蚀剂的3%NaCl溶液中的电偶电流-时间曲线

Fig.2 Alteration of coupling current with time flies in 3% NaCl solution with different inhibitors



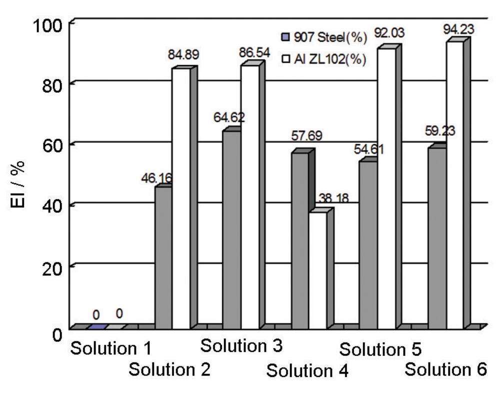


图3 不种缓蚀剂下钢、铝的缓蚀率

Fig.3 Inhibition efficiency of coupling samples in 3%NaCl solution with different inhibitors

该复配体系中缓蚀剂1% Na_3PO_4和5000 mg/L Na_2MoO_4能使钢和铝表面形成更稳定的保护膜层，极大地提高了偶对的自腐蚀电位，偶对间电位差的降低使其电偶电流大幅降低，对钢-铝偶合体间的电偶腐蚀有更好的抑制作用。

3.3 失重分析

通过浸泡失重实验，得出907钢轧制钢材和ZL102铝合金在6种溶液中的腐蚀速率分别为：0.141，0.076，0.050，0.059，0.064和0.057 $g\cdot m^{-2}h^{-1}$；0.432，0.065，0.058，0.267，0.034和0.024 $g\cdot m^{-2}h^{-1}$。可以发现，几种缓蚀剂的添加使得电偶对中钢和铝各自的腐蚀速率较空白溶液均明显降低，说明几种缓蚀剂的添加均在一定程度上抑制了钢-铝电偶对的腐蚀。

图3显示了几种缓蚀剂对钢、铝各自的缓蚀率，可看出溶液2、溶液3、复配体系溶液5和溶液6等4种缓蚀剂对铝的缓蚀率较高，缓蚀效果好，其中复配体系溶液6对铝的缓蚀率最高位94.23%。同时，溶液4、溶液3、复配体系溶液5和溶液6对钢的缓蚀率相对较高。综合以上，可得出复配体系溶液6对钢-铝偶合体的综合缓蚀效果是最好的。

4 结论

几种缓蚀剂的添加均能在阳极表面形成一层致密的钝化膜，引起自腐蚀电位升高，电偶电位发生正移，偶对间电偶腐蚀在一定程度上得到抑制。同时几种缓蚀剂的添加使得钢、铝各自的腐蚀速率明显降低，其中复配体系 (1%Na_3PO_4+5000 mg/L Na_2MoO_4) 对钢、铝的缓蚀率分别为59.23%和94.23%，综合缓蚀效果最好。

参考文献

[1] 王春丽, 吴建华, 李庆芬. 海洋环境电偶腐蚀研究现状与展望 [J]. 中国腐蚀与防护学报, 2010, 30(5): 416

[2] 王成, 江峰, 林海潮. 硫化钠对铝合金在3.5%氯化钠溶液中缓蚀作用的研究 [J]. 腐蚀与防护, 2000, 21(3): 104

[3] 王成, 江峰, 林海潮. 磷酸盐对铝合金缓蚀作用研究 [J]. 全面腐蚀控制, 2000, 14(1): 5

[4] 房娟娟. 钼酸盐缓蚀剂研究进展及发展趋势 [J]. 山东化工, 2008, 37(11): 17

[5] 王楷, 孔小东. 两种缓蚀剂对10CrSiNiCu钢的缓蚀效果研究 [J]. 装备环境工程, 2013, 10(5): 77

[6] Mu G N, Li L. The corrosion inhibition synergism of rare earth cerium (IV) ion and anion- surfactant formild steel [J]. Corros. Prot., 2000, 21(8): 351

[7] 于丽花. 环境友好型钼酸盐三元缓蚀剂的复配研究 [J]. 水处理技术, 2010, 36(10): 53

[8] 李玉明, 刘静敏. 钼酸盐与磷酸盐、硅酸盐复配缓蚀剂的研究 [J]. 腐蚀与防护, 2004, 25(6): 248

[9] ASTM G78-01，Crevice corrosion testing of iron-base and nick-el-base stainless alloys in seawater and other chloride-containing aqueous environments [S]. 2001

[10] Samuels B W, Sotoudeh K, Foley R T. Inhibition and acceleration of aluminum alloy corrosion [J]. Corrosion, 1981, 37(2): 92

[11] 郭良生, 黄霓裳, 石小燕. XM-505盐水介质缓蚀剂的研制 [J]. 材料保护, 1999, 32(2): 36

[12] Emregul K C, Aksut A A. The effect of sodium molybdate on the pitting corrosion of aluminum [J]. Corros. Sci., 2003, 45(11): 2415

